

几何参数对低波纹通道流动与换热特性的影响

戴艳俊 李欣 陶文铨

(动力工程多相流国家重点实验室, 西安交通大学能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要 本文对几种不同几何模型的低波纹通道进行了传热及阻力性能数值研究, 在一定的流速范围内得出了传热和阻力的特性曲线。分析了通道高度、波纹波峰高度、通道宽度对流动与换热的影响。结果表明, 通道高度越小, 换热越强, 同时压降也增加; 波纹波峰高度越大, 换热加强, 压降也相应增加; 通道宽度越大, 换热几乎不变, 但压降随之降低。

关键词 低波纹; 几何参数; 数值模拟

中图分类号: TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2011)01-0126-03

EFFECTS OF GEOMETRIC PARAMETERS ON FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN LOW-CORRUGATED CHANNELS

DAI Yan-Jun LI Xin TAO Wen-Quan

(State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract In this paper, the heat transfer and pressure drop performance of several different geometric models are investigated numerically in low-corrugated channels. The variation of heat transfer coefficient and pressure drop with velocity are obtained in a certain range of flow rate. Effects of the channel height, wave height and channel width on the flow and heat transfer are analyzed. The results show that the heat transfer and pressure drop both decrease with the increase of the channel height; With the increase of the wave height, heat transfer is enhanced and the pressure drop increases simultaneously, with the increase of the channel width, the pressure drop decreases while the heat transfer is almost the same.

Key words low corrugated; geometric parameters; numerical simulation

0 引言

板式换热器以其高效、紧凑和易于清洗等优点广泛应用于工业生产中^[1]。其通道一般均为波纹表面, 这样不但增加了换热面积且能够不断扰动边界层, 增加对流换热系数。文献 [2], [3] 表明, 波纹通道内的流动流型更加复杂, 与一般的平直通道相比换热系数增加 2~3 倍。O'Brien 和 Sparrow^[2] 给出了一个平均 Nu 数湍流经验关联式。Sparrow 和 Comb^[4] 研究了通道高度对流动与换热的影响, 发现在他们所研究的模型中随着通道高度的增加 Nu 数增加但随之阻力也增加。Lin 等^[5] 用无量纲方法研究了通道几何尺寸对流动与换热的影响。

但是现有文献中对低波纹通道的研究报道很少, 特别是为便于安装而引入凹凸台的波纹通道的报道几乎没有, 而工程实际中时有采用, 例如电子器件的冷却器。因此本文用数值方法模拟了带凹凸台的低波纹通道的流动与换热, 总结了几种几何参数对流动与换热的影响。

1 计算模型

1.1 问题描述

文献 [6]~[8] 对沿主流方向具有重复几何结构的通道进行了实验研究, 结果表明当主流方向周期数超过 4~6 之后, 流动与换热就进入周期性充分发展阶段。因此本文选取的计算模型为周期性充分发展阶段。图 1(a) 为本文研究的计算单元, 它是以四个凹凸台为表征的一个周期, 其中包含了多个波纹周期, 图 1(b) 为包含凹凸台的通道截面的放大示意图及相关参数。

1.2 数值方法

计算网格由商用软件 Fluent 的前处理软件 Gambit 生成, 由于模型的复杂性, 采用了六面体和四面体相结合的网格方案。所有模型均进行了网格独立性考核, 由于模型几何尺寸的差异, 计算网格数量最大达到 830 万, 最少为 217 万。计算介质为空气, 物性为常数, 忽略体积力和黏性耗散。进口给定速度与温度的平均值, 进出口为周期性边界条件, 上

Nu

收稿日期: 2010-01-20; 修订日期: 2010-11-28

基金项目: 国家 973 项目 (No.G2007BC206602)

作者简介: 戴艳俊 (1986-), 女, 浙江金华人, 博士研究生, 主要从事强化换热及无网格方法的研究。

下左右壁面均为等壁温条件。采用 $\kappa - \varepsilon$ 湍流模型, 近壁面采用加强型壁面函数法, 计算采用 SIMPLE 算法, 对流项均采用 QUICK 格式进行离散 [9]。特征尺度选取为两倍的通道高度。

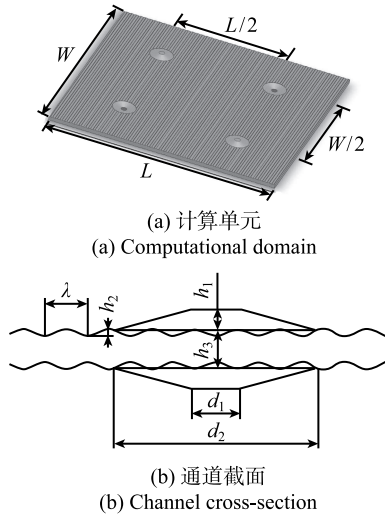


图 1 波纹通道计算单元及通道截面
Fig. 1 Corrugated channel computational domain and its cross-section

1.3 算例考核

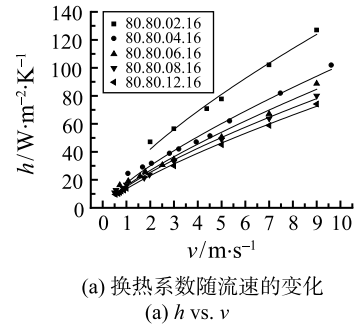
由于缺乏带有凹凸台结构的低波纹通道的相关实验数据, 所以采用纯波纹通道模型对计算方法进行精度考核, 将计算出的换热系数和压降与文献 [10] 推荐的用于预测纯波纹通道换热与阻力性能的 Kumar 公式进行了比较, 90% 的误差在 $\pm 10\%$ 之内, 最大误差小于 15%。该比较结果表明, 本文的计算方法是可靠的。

2 计算结果及分析

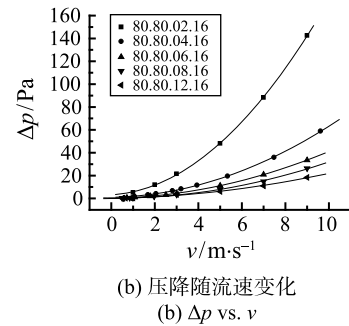
2.1 通道高度 h_3 对流动与换热的影响

计算模型中保持 $L=80$ mm, $W=80$ mm, 和波峰高度 $h_2=0.16$ mm 不变的情况下研究了通道高度对流动与换热的影响。分别取通道高度为 2, 4, 6, 8, 12 mm 五种情况进行了计算与分析, 得到的计算结果如图 2 所示。图中标识以 80.80.02.16 为例说明各数字的含义, 它表示通道长度 80 mm, 宽度 80 mm, 通道高度 2 mm, 波纹波峰高度 0.16 mm, 其它的与之类似。由图 2(a) 可以看出, 通道高度由 2 mm 增加为 4 mm 时, 在相同的流速 (v) 下换热系数急剧下降, 且在高流速区下降的更多; 由 4 mm 再依次增加为 6 mm, 8 mm 以及 12 mm 时换热系数下降的相对逐渐缓慢, 但在高流速区下降的量比低流速区多。从图 2(b) 可以看出, 在相同的流速下, 通道高度由 2 mm 增加为 4 mm 时压降 (Δp) 急剧下降, 且在高

流速区下降的更多。这是由于一方面通道高度越小, 波纹的波峰高度占整个通道高度的比例越大, 掺混得越充分, 换热系数越大, 压降也越大; 另一方面流速越高, 湍流度越大, 换热越强, 压降也越大, 增加的趋势较低流速时更为明显, 所以流速越高, 不同高度的波纹通道间的换热与压降差距也逐渐增加。从以上分析表明, 通道高度越小, 换热系数越大, 同时压降也显著增加。



(a) 换热系数随流速的变化
(a) h vs. v



(b) 压降随流速变化
(b) Δp vs. v

图 2 五种不同通道高度下的换热与阻力特性
Fig. 2 Heat transfer and fluid flow characteristics of five different channel heights

2.2 波纹波峰高度 h_2 对流动与换热的影响

计算中研究了 5 种通道间距下波纹波峰高度对流动与换热的影响, 间距分别为 2, 4, 6, 8, 12 mm, 由于篇幅限制, 本文只以通道间距 12 mm 为例, 波峰高度分别为 0.16 mm 和 0.23 mm 时, 结果如图 3 所示, 从图中可以看出, 波纹波峰高度越大, 换热越强, 同时压降也随之增加, 这是因为在相同的通道高度下波纹波峰高度为 0.23 mm 的模型占整个通道高度的比例更大, 掺混得越充分。其他四种通道间距下的比较结果与之类似, 不再赘述。

2.3 通道宽度 W 对流动与换热的影响

计算中通道长度 L 取 120 mm, 波峰高度取 0.16 mm, 间距取 8 mm 情况下改变宽度 W , 分别取 60 mm, 80 mm, 120 mm 三种情况, 由图 4(a) 可以看出, 在相同的流速下通道宽度不同时, 计算出的换热系数基本相当, 也就是通道宽度的变化对换热影响很小; 由于凹凸台的中心间距与波纹通道的宽度

相关联,所以也可以看出,凹凸台的相对位置对换热没有影响。但是随着通道宽度的增加,压降逐渐降低。

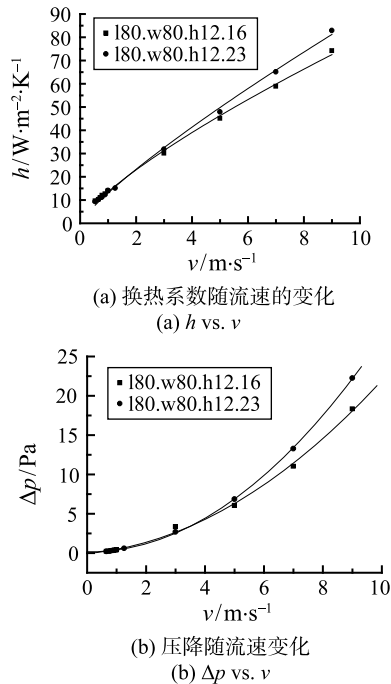


图 3 两种不同波纹波峰高度下换热与阻力性能
Fig. 3 Heat transfer and fluid flow characteristics of two different wave heights

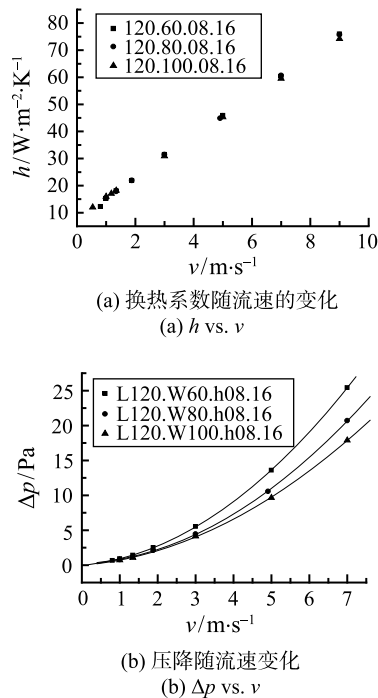


图 4 三种不同通道宽度下换热与阻力性能
Fig. 4 Heat transfer and fluid flow characteristics of three different channel widths

3 结 论

采用 Fluent 软件对低波纹通道的流动与换热进行了数值分析,研究了三种几何因子的影响。得到了多种几何模型下换热系数和压降与流速关系的性能曲线。结果表明,通道高度越小,换热越强,同时压降也增加;波纹波峰高度越大,换热加强,压降也相应增加;通道宽度越大,换热几乎不变,但压降随之降低。

参 考 文 献

- [1] 朱曾用. 板式换热器的国内外概况 — 动态, 进展与展望 [J]. 制冷, 1990, 3: 34-38
ZHU Cengyong. Overview on Plate Heat Exchanger at Home and Abroad — Trends, Progress and Prospects [J]. Refrigeration, 1990, 3: 34-38
- [2] O'Brien J E, Sparrow E M. Corrugated-Duct Heat Transfer, Pressure Drop and Flow Visualization [J]. ASME J. Heat Transfer, 1982, 104: 410-416
- [3] Goldstein L J, Sparrow E M. Heat/Mass Transfer Characteristics for Flow in a Corrugated Wall Channel [J]. Trans ASME J. Heat Transfer, 1977, 99: 187-195
- [4] Sparrow E M, Comb J W. Effect of Interwall Spacing and Fluid Flow Inlet Conditions on a Corrugated-Wall Heat Exchanger [J]. Int. J. Heat Mass Transfer, 1983, 26(7): 993-1005
- [5] LIN J H, HUANG C Y, SU C C. Dimensional Analysis for the Heat Transfer Characteristics in the Corrugated Channels of Plate Heat Exchangers [J]. Int. Communications in Heat and Mass Transfer, 2007, 34: 304-312
- [6] LUE S S, HUANG H Z, TAO W Q. Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics in the Developing Region for Arrays of Obliquely Positioned Plates of Nonuniform Length [J]. Exp. Therm. Fluid Sci., 1993, 7: 30-38
- [7] HUANG H Z, TAO W Q. An Experimental Study on Heat Mass Transfer and Pressure Drop Characteristics for Arrays of Nonuniform Plate Length Positioned Obliquely to the Flow Direction [J]. ASME J. Heat Transfer, 1993, 115: 568-575
- [8] WANG L B, TAO W Q. Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics of Plate Array Aligned at Angles to the Flow Direction [J]. Int. J. Heat Mass Transfer, 1995, 38: 3053-3063
- [9] 陶文铨. 数值传热学 [M]. 第二版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001: 165-166
TAO Wenquan. Numerical Heat Transfer [M]. Second ED. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001: 165-166
- [10] 王启川. 热交换设计 [M]. 台北: 五南图书出版股份有限公司, 2007: 421-423
WANG Qichuan. Heat Exchanger Design [M]. Taipei: Wunan Book Publishing Co., Ltd, 2007: 421-423

卷、
期、
号?

破折号

ed